



Ana Cláudia Rodrigues Sampaio

Licenciatura em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

Estudo de Melhoria da Disponibilidade de uma Linha numa Indústria Alimentar

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Helena Vítorovna
Guitiss Navas, FCT-UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2015

Copyright © Ana Cláudia Rodrigues Sampaio, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*À minha família e amigos pela
força e motivação*

“Viver não é necessário. Necessário é criar”

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

Este estudo não teria sido possível sem a ajuda de inúmeras pessoas que ao longo do caminho estiveram presentes para me apoiar.

Agradeço à Professora Doutora Helena Víctorovna Guitiss Navas por todo o incentivo, interesse, sugestões e críticas na orientação deste estudo.

A toda a equipa da Gelpeixe, Alimentos Congelados S.A., em especial ao Engenheiro Eugénio Antão e à Doutora Lúcia Tarré, por terem permitido a realização do estágio curricular e por todo o apoio e confiança demonstrados. Uma palavra de agradecimento aos meus colegas Engenheiro João Garriapa e Engenheiro Ricardo Filipe por toda a ajuda, conselhos e disponibilidade que demonstraram. E ainda, ao meu colega Ricardo Figueiredo pelo material fornecido e pelas palavras de incentivo.

Aos meus pais e irmã, Jorge Sampaio, Maria Sampaio e Andreia Sampaio, por me terem ajudado a alcançar todos os meus objetivos e por toda a compreensão que demonstraram nos momentos mais difíceis. Agradeço também ao meu tio Alfredo João Azevedo, por ter acreditado no meu potencial e proporcionado esta oportunidade.

Agradeço ao meu namorado Diogo Lopes, por ser incansável, por toda a paciência e pelas palavras amigas e de incentivo.

Sem vocês, todo este trabalho não teria sido possível.

RESUMO

Numa unidade fabril um dos fatores decisivos para o cumprimento dos objetivos exigidos é a capacidade de produção sem paragens involuntárias, isto é, a fiabilidade dos equipamentos tem de ser elevada. Para que tal aconteça é necessário que exista um planeamento da manutenção desses mesmos equipamentos e que esta seja aplicada de forma coerente e estruturada.

No âmbito do estudo de caso, para a determinar a fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade dos componentes do sistema utilizaram-se modelos estatísticos, baseados nos dados disponíveis do ano 2014. Iniciou-se a análise do sistema global fazendo o levantamento do número de falhas por equipamento e das suas respetivas durações que, por sua vez, foram recolhidas através dos registos das folhas de obra abertas/fechadas para cada equipamento.

Utilizou-se o teste de Laplace para determinar qual a tendência das avarias, e, com o auxílio dos indicadores de manutibilidade e fiabilidade, determinou-se a disponibilidade intrínseca do sistema. Em seguida, iniciou-se um estudo mais detalhado sobre os tempos registados no decorrer de cada avaria, visando reduzir o *gap* presente na base de dados usada e, com isso, aumentar a sua fiabilidade. Identificaram-se os equipamentos críticos, assumindo que estes se encontram abaixo dos valores aceitáveis para um fluxo produtivo contínuo e eficiente.

Por fim, realizou-se um levantamento de custos, associados ao ciclo de vida de cada equipamento, de forma a ajudar a empresa a decidir se a melhor opção será a substituição dos equipamentos críticos ou a sua reparação.

Com toda esta informação, elaborou-se um documento que demonstra, quais os equipamentos que têm maior influência na disponibilidade da linha e ainda todos os gastos existentes em manutenção e componentes. Espera-se que, com este estudo, a empresa possua as ferramentas necessárias para poder tomar uma decisão que se traduza numa melhoria do fluxo produtivo do sistema.

Palavras-chave: Fiabilidade, Manutibilidade, Disponibilidade Intrínseca, Disponibilidade Operacional, Custo do Ciclo de Vida, Custo de Oportunidade.

ABSTRACT

At an industrial world one of the decisive factors for the fulfilling of the goals is the capacity to produce without involuntary stops, that is, equipment must show high levels of reliability, and for that to happen it is crucial to have a maintenance plan of those equipment and that this mentioned plan is executed in a structured and logical way.

Within the scope of this study case and in order to determine reliability, maintainability and availability of the components of the system, a variety of statistical models were used, based on the data available from 2014. Firstly, the global analysis was initiated by picking up the number of flaws per equipment and their duration by checking the work sheet records for each equipment.

To discover the tendency of breakdowns and malfunctions of each equipment and therefore discovering the intrinsic availability of the system, the Laplace test was used aided by the maintainability and reliability indicators. With this, it can be concluded which are the critical equipment, assuming that these have values below the norm for a continuous and efficient production flow.

Ultimately, the costs associated with the life cycle of each equipment were assessed in order to help the company decide if the investment in new equipment that relief the old ones is considered a viable solution, or, if otherwise it pays off to maintain the old ones.

With all this information it became possible to write a document that demonstrates which of the equipment have a bigger influence in the overall availability of the production line and all the spending on maintenance and components. It is expected that this study will help the company to possess the necessary tools to make decisions which can be translated in an improvement of the system's production flow.

Keywords: Reliability, Maintainability, Intrinsic Availability, Operational Availability. Life Cycle Cost, Opportunity Cost

Índice

CAPÍTULO 1 - Introdução	1
1.1. Enquadramento e Âmbito do Estudo.....	1
1.2. Estrutura	2
1.3. Contributos do Estágio	3
CAPÍTULO 2 - Gestão da Manutenção e Fiabilidade Industrial	5
2.1. Evolução e Definição de Manutenção	5
2.1.1. Gestão da Manutenção.....	6
2.1.2. Tipos de Manutenção.....	7
2.1.3. <i>Total Productive Maintenance</i>	9
2.1.4. Eficiência Total dos Equipamentos	10
2.1.5. Manutenção Centrada na Fiabilidade.....	13
2.2. Evolução e Definição da Fiabilidade.....	14
2.2.1. Conceito de Falha	15
2.2.2. Modelos de Fiabilidade.....	15
2.2.3. Análise da Fiabilidade	17
2.2.4. Teste de Laplace	21
2.2.5. Modelo de Crow	22
2.2.6. Indicadores de Desempenho	23
2.3. Análise de Custos	25
2.3.1. Custo do Ciclo de Vida (<i>Life Cycle Cost</i>).....	25
2.3.2. Custos de Oportunidade.....	27
2.3.3. Vida Económica de um Equipamento.....	27
CAPÍTULO 3 - Apresentação da Empresa e seu Sistema de Produção.....	29
3.1. Gelpeixe, Alimentos Congelados S.A.	29
3.1.1. Evolução Histórica da Empresa.....	30
3.2. Processo Produtivo da Empresa	32
CAPÍTULO 4 - Análise do Processo Produtivo da Linha A	33
4.1. Introdução ao Sistema – Linha A	33
4.2. Análise Crítica ao funcionamento da Linha A	36
4.2.1. Análise das Falhas do Sistema.....	36
4.2.2. Número de Falhas	37
4.2.3. Duração das Falhas	39
4.2.4. Análise de Parâmetros por Equipamento	41

4.3. Análise Crítica às Atividades de Manutenção.....	44
4.3.1. Atividades de Manutenção Preventiva	44
4.3.2. Atividades de Manutenção Corretiva	45
CAPÍTULO 5 - Propostas de Melhoria para a Gestão da Manutenção e Fiabilidade.....	47
5.1. Melhoria da Estrutura da Folha de Obra	47
5.2. Criação de uma Folha de Cálculo da Disponibilidade do Sistema	48
5.3. Criação de uma Folha de Cálculo do Custo de Ciclo de Vida dos Equipamentos	49
CAPÍTULO 6 - Disponibilidade e Custo de Ciclo de Vida da Linha A.....	51
6.1. Disponibilidade da Linha A.....	51
6.1.1. Análise Estatística das Falhas do Sistema	52
6.1.2. Análise da Disponibilidade Intrínseca do Sistema.....	57
6.1.3. Análise dos Tempos Contabilizados nas Folhas de Obra	58
6.1.4. Disponibilidade Operacional do Sistema.....	60
6.2. Levantamento de Custos.....	62
6.2.1. Custo de Ciclo de Vida	63
6.2.2. Custo de Oportunidade	66
6.2.3. Valor Residual	67
CAPÍTULO 7 – Considerações Finais.....	69
7.1. Conclusões.....	69
7.2. Propostas Futuras de Desenvolvimento.....	72
Bibliografia	75
Anexos	77

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Classificação da Manutenção	7
Figura 2.2 - Síntese dos Tipos de Manutenção	9
Figura 2.3 - Tipos de Falha	15
Figura 2.4 - Síntese dos Modelos de Fiabilidade e Respetiva Divisão	16
Figura 2.5 - Períodos da Curva de Mortalidade ou da Banheira	20
Figura 2.6 - Representação da Normal Reduzida.....	22
Figura 2.7 - Custos do Ciclo de Vida	26
Figura 3.1 - Instalações da Gelpeixe; Área de Cargas e Descargas	29
Figura 4.1 - Layout da Linha A e Identificação dos Equipamentos	35
Figura 4.2 - Evolução do Número de Falhas ao Longo do Ano 2014 e Curva de Tendência.....	37
Figura 4.3 - Diagrama de Pareto: Número de Falhas por Equipamento.....	38
Figura 4.4 - Diagrama de Pareto: Número de Paragens por Equipamento.....	38
Figura 4.5 - Diagrama de Pareto: Duração de Falhas por Equipamento	39
Figura 4.6 - Diagrama de Pareto: Duração de Paragens por Equipamento	40
Figura 4.7 – Divisão da Duração das Falhas	41
Figura 6.1 - Tempo Contabilizado pelas FO	58

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 - Equipamentos da Linha A e Respetiva Matrícula	33
Tabela 6.1 - Resumo dos Resultados Obtidos pelo Teste de Laplace	52
Tabela 6.2 - Resultados dos Indicadores MTTR, MTBF e TMR do TAP-A	52
Tabela 6.3 - Resultados dos Indicadores MTTR, MTBF e TMR das Serras.....	53
Tabela 6.4 - Resultados dos Indicadores MTTR, MTBF e TMR do TUN-A	54
Tabela 6.5 - Resultados dos Indicadores MTTR, MTBF e TMR da GLAS-A	54
Tabela 6.6 - Resultados dos Indicadores MTTR, CMTBF e TMR da CAL-A	55
Tabela 6.7 - Resultados dos Indicadores MTTR, MTBF e TMR do TAP-REC-CAL.....	55
Tabela 6.8 - Resultados dos Indicadores MTTR, CMTBF e TMR da SEL-02	56
Tabela 6.9 - Resultados dos Indicadores MTTR, MTBF e TMR da CERTIF-08	56
Tabela 6.10 - Resultados dos Indicadores MTTR, MTBF e TMR da ADESV-CX-03.....	56
Tabela 6.11 - Resultados dos Indicadores e da DI dos Equipamentos	57
Tabela 6.12 - Síntese dos Tempos Implícitos nas FO	60
Tabela 6.13 - Resultados das DP, DI e DO dos Equipamentos	61
Tabela 6.14 - Tempos de Paragens e de Funcionamento da Linha A.....	62
Tabela 6.15 - Resultados das Disponibilidades Própria, Induzida e Operacional da Linha A	62
Tabela 6.16 - Síntese dos Custos de Aquisição, Manutenção e Desativação	65
Tabela 6.17 - Resultados do Valor Atual de cada Equipamento	67

Acrónimos

AFNOR- *Association Française de Normalisation*

CAMB – Custo Ambiental

CD – Custo de Desativação do Equipamento

CIN – Custo de Instalação do Equipamento

CM – Custo de Manutenção do Equipamento

CMTBF – *Cumulated Medium Time Between Failures*

CO – Custo de Operações de um Equipamento

COp – Custo de Oportunidade

CUV – Custo Unitário de Venda

CVA – Custo de Aquisição do Equipamento

Di – Disponibilidade

D – Disponibilidade Intrínseca

DI – Disponibilidade Induzida

DP – Disponibilidade Própria

FDP – Função Densidade de Probabilidade

FO – Folha de Obra

LCC – *Life Cycle Cost*

MC – Manutenção Corretiva

MCU – Margem de Contribuição Unitária

MDO – Mão-de-Obra

MP – Manutenção Preventiva

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTTF – *Mean Time to Failure*

NUNV – Número de Unidades Não Vendidas

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

OUTP – *Output* Potencial

OUTT – *Output* Total

PCon – Produtos Conformes

PME – Pequenas e Médias Empresas

PPH – Processo de Poisson Homogéneo

PPNH – Processo de Poisson Não Homogéneo

PR – Processo de Renovação

Ptotal – Produção Total

PULV – Preço Unitário Líquido de Venda

RCM – *Reliability Centered Maintenance*

SNR – Sistema Não Reparável

SR – Sistema Reparável

TBF – *Time Between Failures*

TMR – Taxa Média de Reparação

TOD – Tempo de Operação Disponível

TOT – Tempo de Operação Total

TPM – *Total Productive Maintenance*

TQ - Taxa de Qualidade

TTR – *Time to Repair*

Simbologia

N – Número de Falhas

T – Duração do Ensaio

T_f – Tempo de Funcionamento

T_{pi} – Tempo de Paragens Induzidas por Avarias

T_{pp} – Tempo de Paragens Próprias

$Z_{\frac{\alpha}{2}}$ – Valor Crítico

Z_0 – Estatística de Teste de Laplace

α – Nível de Significância

β' – Parâmetro Beta do Modelo de Crow

λ – Taxa de Avarias

λ' – Parâmetro Lameda do Modelo de Crow

χ' – Estimador do Modelo de Crow

μ – Taxa de Reparação

τ_i – Idade do Sistema para a Avaria de Ordem

CAPÍTULO 1

Introdução

Com este capítulo pretende-se fazer a introdução à presente dissertação, expondo o âmbito de estudo, a estrutura da dissertação e ainda a contribuição da mesma para a empresa.

1.1. Enquadramento e Âmbito do Estudo

A manutenção é uma área que envolve vários conhecimentos e é uma fonte de informação indispensável para qualquer indústria. Em específico para a indústria alimentar, com as auditorias e requisitos que surgem constantemente é fundamental que todos os departamentos sejam organizados e conformes.

A Gelpeixe, Alimentos Congelados S.A. é uma das maiores empresas nacionais da área do comércio de pescado ultracongelado e neste sentido surgiu a motivação para integrar a sua equipa, nomeadamente no departamento de manutenção.

Estando o departamento de manutenção diretamente relacionado com todos os outros é extremamente importante que a informação partilhada ocorra sem falhas e que, nomeadamente nas linhas de produção, esta tenha um fluxo contínuo e transparente. Neste sentido, poderão ser evitadas longas paragens de produção se todos funcionarem em sintonia e concordância.

Nesta perspetiva foi sugerido um estágio no departamento de manutenção para realizar a presente dissertação. Como base de estudo utilizaram-se os registos de produção e de manutenção da Linha A que têm como suporte todas as ocorrências que resultaram nas alterações de produção, no decorrer do ano 2014. Baseia-se ainda nos registos dos custos associados à MDO, custos de aquisição e valor residual dos equipamentos pertencentes ao sistema.

Assim, o objetivo deste estudo é criar um documento em Excel que possa auxiliar os responsáveis em dois níveis de desclassificação de equipamentos. Por um lado, através da disponibilidade dos equipamentos concluir os que devem ser sujeitos a alterações ou possíveis substituições, e, por outro lado, fazer o balanço do custo de vida dos constituintes da linha para que seja possível tomar uma decisão que ajude a aumentar a produtividade do sistema e consequentemente impedir roturas de *stock* tanto para a procura do mercado nacional como internacional.

Ao longo do estudo espera-se ainda detetar possíveis melhorias de forma a aumentar a qualidade da informação retirada das linhas.

1.2. Estrutura

A presente dissertação encontra-se dividida em oito capítulos.

No **Capítulo 1 - Introdução**, é realizada uma breve descrição do trabalho a desenvolvido, do âmbito e objetivo da dissertação, assim como a estrutura do documento e os contributos do estágio para a empresa.

O **Capítulo 2 – Gestão da Manutenção e Fiabilidade Industrial**, corresponde a todo o suporte teórico usada para fundamentar a dissertação. Neste capítulo abordam-se os temas de manutenção e fiabilidade para equipamentos pertencentes a sistemas reparáveis, descreve-se a importância da gestão da manutenção nas organizações e uma breve introdução ao TPM. Para completar, abordou-se ainda os custos associados ao ciclo de vida de equipamentos reparáveis, custo de oportunidade e custo residual.

No **Capítulo 3 - Apresentação da Empresa e do seu Sistema de Produção**, é feito o resumo descritivo sobre a empresa onde foi desenvolvido o estudo de caso, incluindo os pontos de destaque ao longo dos anos e a sua dimensão. É ainda apresentado o funcionamento e capacidade do processo de produção analisado.

O **Capítulo 4 – Análise do Processo Produtivo da Linha A**, diz respeito ao início do estudo sobre o sistema. Apresenta-se uma análise crítica aos dados recolhidos relativamente ao número de avarias por equipamento e as suas respetivas durações, distinguindo falhas que implicam paragens do sistema e da duração das mesmas. Faz-se, ainda, uma análise crítica às atividades preventivas e corretivas aplicadas à empresa. Descreve-se também como decorrem os processos e como está estruturado o fluxo de informação.

No **Capítulo 5 – Propostas de Melhoria para a Gestão da Manutenção e Fiabilidade**, são apresentadas três possíveis melhorias com base no estudo realizado, envolvendo as atuais FO e a criação de duas folhas de cálculo que permitirão à empresa tomar conhecimento sobre o estado dos equipamentos que operam na linha.

No **Capítulo 6 – Disponibilidade e Custo de Ciclo de Vida da Linha A**, apresenta-se o estudo elaborado para alcançar os resultados que compõem as folhas de cálculo indicadas no capítulo anterior. No primeiro tópico determina-se a disponibilidade da Linha A e os indicadores de

manutibilidade e fiabilidade. No segundo tópico apresenta-se o levantamento de custos de ciclo de vida dos equipamentos e ainda o custo de oportunidade face à disponibilidade intrínseca determinada.

Finalmente, no **Capítulo 7 – Considerações finais**, estão descritas as conclusões obtidas com o estudo realizado durante o estágio na empresa e apresentam-se as propostas de melhoria a desenvolver num futuro próximo.

Na **Bibliografia** expõem-se todos os autores, artigos e livros utilizados na realização do estudo de caso e os **Anexos** contêm o material complementar.

1.3. Contributos do Estágio

O estágio curricular foi iniciado em outubro de 2014, com o objetivo de, ao longo de seis meses, desenvolver um estudo relacionado com a Gestão da Manutenção e dos seus ativos. A Auditoria IFS - *International Featured Standards* –, que foi realizada em novembro, incentivou a revisão de toda a informação e de algumas metodologias, revelando-se uma excelente altura para a integração na equipa Gelpeixe. No primeiro mês de estágio as atividades foram realizadas em torno da organização da informação respeitante às FO de ações preventivas, criando pastas físicas segundo cada linha de produção com a separação dos respetivos equipamentos. Ainda, relativamente às FO de ações preventivas foram atualizadas as listas de verificação, visando torna-las claras e completas de forma a abrangerem todos os equipamentos e áreas envolventes.

A Auditoria IFS abrange toda a organização e, no departamento de manutenção, as atividades não se limitam às linhas de transformação e produção, é vital que englobar todas as infraestruturas do edifício e garantir a máxima funcionalidade e conservação de todas os envolventes. Neste sentido é fundamental que existam planos bem definidos e garantir que estes são aplicados. Para tal procedeu-se à revisão dos planos de manutenção para edifícios, criando-se listas de verificação consoante cada área de intervenção.

À medida que os conhecimentos sobre a empresa e processos foram consolidados, foi sugerido a criação de um documento, que posteriormente pudesse ser inserido e aplicado no *software* da empresa, que contivesse os indicadores de manutenção das linhas, o estado dos equipamentos constituintes e o a informação sobre os custos dos equipamentos respetivos.

A presente dissertação é o resultado do estágio concretizado ao longo de seis meses na Gelpeixe, Alimentos Congelados S.A. e da contínua aprendizagem em atividades no âmbito do estudo e em outras paralelas ao mesmo.

CAPÍTULO 2

Gestão da Manutenção e Fiabilidade Industrial

Ao longo dos anos tem-se assistido à evolução de muitas áreas relacionadas com a indústria fabril. Assim, é importante conhecer todas as ferramentas existentes que podem ajudar a melhorar o processo de monitorização e análise da condição dos equipamentos.

Neste capítulo serão abordadas as temáticas de manutenção e fiabilidade industrial e custo de ciclo de vida de equipamentos reparáveis.

2.1. Evolução e Definição de Manutenção

Segundo Dhillon (2006), a necessidade de manter os equipamentos preservados encontra-se presente na vida do Homem desde o início dos tempos. Porém, é passível afirmar-se que, o início da engenharia da manutenção moderna pode estar relacionado como o desenvolvimento da máquina a vapor por James Watt em 1796 na Grã-Bretanha.

A partir da década de 70 a manutenção industrial começou a adquirir um de grau de importância destacado. Fatores como atividades industriais, relacionados com a produção, qualidade e custos, passaram a depender diretamente das condições de manutenção. Foi durante esta época que as grandes potências industrializadas começaram a implementar planos de manutenção como garantia de competitividade (Nassar & Dias, 2008).

Desde a Revolução Industrial, a manutenção de sistemas de engenharia tem sido um desafio contínuo. Apesar do progresso impressionante, que foi feito no campo da manutenção de equipamentos, continua a ser um desafio por causa de vários fatores como a complexidade, custo e concorrência (Dhillon, 2006).

Hoje em dia, entende-se por manutenção o conjunto das ações que têm por fim executar as operações necessárias para que os equipamentos sejam mantidos ou restabelecidos num estado especificado ou com possibilidade de assegurar um serviço determinado, por um custo global mínimo (Didelet & Viegas, 2003).

Esta deve incluir todas as ações que permitam manter e restaurar os equipamentos no seu estado funcional. O termo “manter” refere-se a uma ação preventiva e inclui o conceito de monitorização

e prevenção de um bem em condições normais. O termo “restaurar” refere-se ao conceito de correção (melhoria) após a perda de função, isto é, menciona o aspeto de proteção. Resumindo, a manutenção é então um conjunto de ações que têm de ser realizadas para manter o equipamento em pleno funcionamento e assim garantir condições aceitáveis de produção (Chaïb *et al.*, 2014).

É um fator importante para a qualidade do produto e pode ser utilizada como estratégia de competitividade. Para produzir um nível elevado de qualidade, os equipamentos de produção devem operar dentro das especificações que são alcançáveis por ações de manutenção oportunas (Duffuaa *et al.*, 1999).

Segundo a Norma Europeia EN 13306:2010, a manutenção define-se como a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, que durante o ciclo de vida de um determinado componente, se destinam a mantê-lo ou a restaurá-lo para um estado onde possa executar a função desejada (CEN,2010).

Os objetivos da manutenção estão diretamente relacionados com os objetivos gerais que se pretendem atingir na área de produção. Estes são, por um lado, garantir a disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos de produção e por outro maximizar a eficiência dos recursos de manutenção (Poór *et al.*, 2013).

2.1.1. Gestão da Manutenção

A natureza e o tamanho da indústria determinam a estrutura e a organização do departamento de manutenção. Assim, não existe um modelo único possa servir para a organização da manutenção. A dimensão das instalações e o número de funcionários da produção, bem como o grau de automação, pode influenciar o tamanho da equipa de manutenção. Mas, independentemente da estrutura organizacional, a gestão da manutenção deve incluir sempre as funções de planeamento e programação (Stephens, 2010).

A Gestão da Manutenção é definida por todas as atividades de gestão que determinam os objetivos, estratégias e responsabilidades respeitantes à manutenção, de forma a implementá-las através de planeamento, controlo das atividades de manutenção e melhoria de métodos na organização, incluindo aspetos económicos (CEN, 2010).

Organizações modernas consideram estratégias de manutenção, regras, procedimentos e ações, como a questão e fator mais importantes para alcançar o sucesso. Isto é, a conceção e gestão eficaz de um sistema de produção requer a conceção e gestão eficaz do processo de manutenção correlacionados com os sistemas de produção (Manzini *et al.*, 2009).

Um sistema de manutenção requer um plano estratégico, orçamentos dedicados, investimentos relevantes em termos monetários e de recursos humanos, equipamentos e peças em inventário. Em particular, requer a disponibilidade e empenho de pessoal em todos os níveis da organização incluindo também a aplicação do processo de manutenção (Manzini *et al*, 2009).

Segundo a Norma Portuguesa 4483:28, para que uma organização defina uma política de manutenção e alcance os objetivos de desempenho dos seus processos deverá implementar um Sistema eficaz de Gestão da Manutenção. Permite-lhe assim, demonstrar a sua aptidão para, de forma consistente, proporcionar um serviço que vá ao encontro dos requisitos do cliente, das exigências legais e regulamentares aplicáveis. Este sistema segue uma metodologia PDCA, ou seja, Planear-Executar-Verificar-Atuar (IPQ, 2008).

2.1.2. Tipos de Manutenção

O passo mais importante para garantir o sucesso da manutenção preventiva é estabelecer políticas que prescrevem quais serão as operações a serem realizadas. Numa política adequada, a manutenção deve definir um programa de "detecção orientado" manutenção preventiva (Tomlinsong, 1998). A Figura 2.1 traduz, sucintamente, os tipos de manutenção que podem ser aplicados.

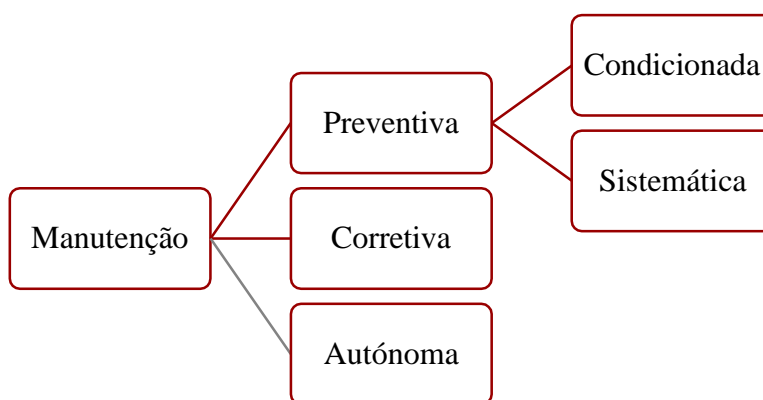


Figura 2.1 - Classificação da Manutenção (Adaptado de AFNOR, 2014)

A. Manutenção Preventiva

Segundo Tomlinsong (1998), o programa de MP deve incluir equipamentos de inspeção e ensaios não destrutivos para ajudar a evitar falhas prematuras. As atividades de lubrificação, manutenção, limpeza, ajuste e substituição de componentes menores devem ser realizadas para prolongar a vida dos equipamentos. Por outro lado, a produção deve executar tarefas relacionadas com a MP, tais como limpeza e ajustes, e garantir que todos os serviços de manutenção preventiva são realizados dentro dos prazos estabelecidos.

- i. **Manutenção Preventiva Sistemática:** As intervenções de manutenção preventiva sistemática desencadeiam-se periodicamente, com base no conhecimento da lei de degradação aplicável ao caso do componente particular e de um risco de falha assumido (Didelet & Viegas, 2003).
- ii. **Manutenção Preventiva Condicionada:** Inclui uma combinação de condições de monitorização, inspeção, testes, análise e ações de manutenção consequentes. A aplicação desta manutenção é realizada através de uma previsão derivada da análise e avaliação dos parâmetros significativos de degradação do equipamento (CEN, 2010).

A manutenção condicionada difere da manutenção sistemática na medida em que se executa a manutenção só quando esta se torna necessária (Didelet & Viegas, 2003).

B. Manutenção Corretiva

De acordo com esta filosofia de manutenção, o controlo deverá ser realizado de forma sistemática sobre a condição dos equipamentos, através da medição dos parâmetros que os caracterizam, isto porque quando estes se alteram significa que se está perante o início de uma avaria (Didelet & Viegas, 2003).

Também segundo a Norma Europeia EN 13306:2010, a manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de uma falha e quando se pretende colocar um componente num estado em que se pode executar a função requerida (CEN, 2010).

É o trabalho de reparação dos equipamentos quando ocorre uma falha. Mesmo que as avarias não criem danos sérios para os outros componentes e/ou danos físicos para os operários, estas causam paragens, atrasados de produção e necessidades inesperadas de reparação, sendo por isso o tipo de manutenção mais cara (Stephens, 2010).

A figura 2.2 ilustra resumidamente as diferenças entre a manutenção preventiva sistemática, manutenção preventiva condicionada e a manutenção corretiva.

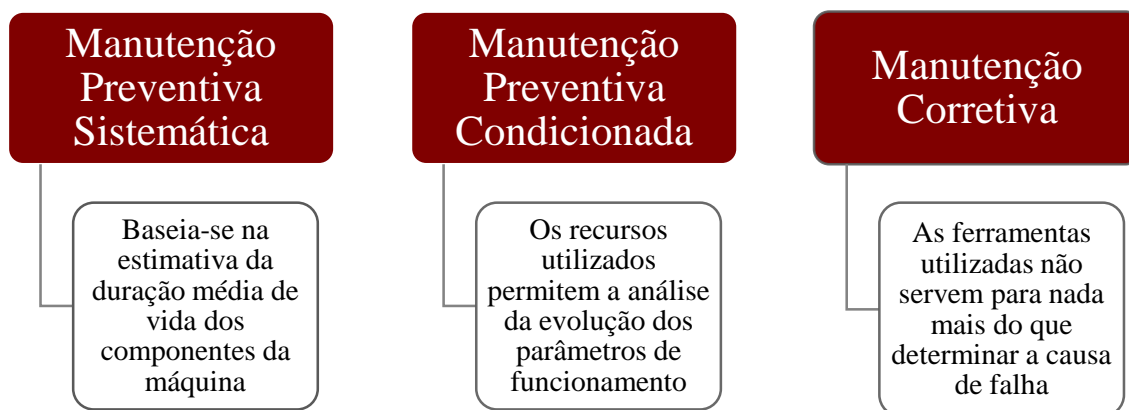


Figura 2.2 - Síntese dos Tipos de Manutenção (Adaptado de Mirshawka, 1991)

C. Manutenção Autónoma

A manutenção autónoma envolve os operadores nas atividades diárias de manutenção como ações de inspeção, limpeza, lubrificação e de ajuste. Este tipo de manutenção permite detetar e tratar pequenas anomalias antes que elas evoluam para uma falha mais complexa (Fogliato & Ribeiro, 2009).

Para que os operadores consigam realizar as atividades de manutenção, por mais simples que sejam é importante e fundamental que todos recebam a formação indicada e que esta seja contínua (Kister & Hawkins, 2006).

Esta é uma prática que está diretamente ligada com a filosofia TPM e o indicador OEE, como se demonstrará nos pontos seguintes.

2.1.3. *Total Productive Maintenance*

O TPM pode ser definido como uma técnica de manutenção produtiva, constituída por um conjunto de atividades que podem ser realizadas por todos os operadores, de forma a obter zero avarias. Esta filosofia introduz uma visão significativamente diferente da manutenção preventiva. O seu objetivo é aumentar a eficiência da produção o máximo possível e envolvendo o fator humano (Manzini *et al.*, 2009).

A implementação do TPM é uma tarefa que requer planeamento apurado e foca a sua abordagem em aspetos Motivacionais e de Formação. Os pilares deste programa são (GIAGI, 2007):

1. **Manutenção autónoma** – Permite aplicar os cuidados básicos de manutenção de máquinas através do operador.

2. **Manutenção Programada** – Tem como objetivo aumentar a eficácia reduzindo os custos de manutenção, através da correção de erros com base no conhecimento dos equipamentos e no seu histórico de falhas.
3. **Eliminação das perdas** – Estas estão relacionadas com as perdas de disponibilidade descritas no tópico da Disponibilidade Operacional.
4. **Formação e treino** – Ao aliar as componentes teóricas com as práticas pretende-se atingir o “zero-perdas”.
5. **TPM na conceção** – Tem como objetivo planear as ações de manutenção antes de iniciar a fase de produção, de forma a controlar a disponibilidade e custos associados aos processos.
6. **TPM nos serviços** – Melhorar os serviços através da evolução dos conhecimentos adquiridos.
7. **Manutenção da qualidade** – eliminar o desperdício pelo trabalho de escritório
8. **TPM na segurança, higiene e condições de trabalho** – Tem como objetivo alcançar os “zeros acidentes”.

Segundo Stephens (2010), o operador é o principal participante no ambiente do TPM. O departamento de manutenção é o conselheiro do grupo, fornecendo treino, definindo padrões e atuando sobre reparações de maiores dimensões. Mas a filosofia TPM não depende exclusivamente do departamento de manutenção para efetuar as operações, utiliza todos os recursos disponíveis, incluindo operadores, pessoal da manutenção, engenheiros e fornecedores para melhorar a manutenção dos equipamentos e assim obter o seu melhor desempenho.

2.1.4. Eficiência Total dos Equipamentos

A OEE é normalmente utilizada como um indicador de desempenho da utilização de equipamentos, indicando quais os equipamentos que estão a ser sobreutilizados ou subutilizados (Singh et al., 2013). No geral, as empresas pretendem atingir produções eficazes e de baixo custo. Estes objetivos são pressionados quando os clientes exigem produtos de alta qualidade ao melhor preço. As empresas que o conseguem utilizam abordagens disciplinadas para identificar possíveis melhorias (Hansen, 2001).

O objetivo é garantir que os equipamentos funcionam e se encontram disponíveis para conceber produtos de qualidade durante o máximo de tempo. Desta necessidade e, aliada à filosofia TPM surgem os indicadores OEE que reconhece que a avaria de um equipamento não é a única causa de perda de produtividade (por exemplo produção de bens não conformes) (Borris, 2006).

Este método permite medir o desempenho produtivo de uma linha, integrando a disponibilidade dos equipamentos, a eficiência e a qualidade dos produtos (Belohlavek, 2006).

Onde,

$$Di = \frac{TOD}{TOT} \quad (2.1)$$

$$De = \frac{OUTT}{OUTP} \quad (2.2)$$

$$TQ = \frac{PCon}{Ptotal} \quad (2.3)$$

Sabendo que,

Di – Disponibilidade

TOD – Tempo de Operação Disponível

TOT – Tempo de Operação Total

De – Desempenho

OUTT – *Output* Total

OUTP – *Output* Potencial

TQ – Taxa de Qualidade

PCon – Produtos Conformes

Ptotal – Produção Total

Assim, a OEE é calculada através da seguinte expressão:

$$OEE = Di \times De \times TQ \quad (2.4)$$

Segundo Stephens (2010), o programa TPM é uma ferramenta importante respeitante à OEE. Este, luta por reduzir e eliminar obstáculos que impedem as linhas de produção de atingir a sua eficiência máxima.

Os problemas associados aos equipamentos residem na manutenção e exploração dos mesmos. Isto quer dizer que desde o equipamento mais simples até o melhor mais inovador existe um ponto comum que se centra na manutenção adequada e em quem a pratica (GIAGI, 2007).

A. Disponibilidade Operacional

Este é um indicador que pode ser útil quando se está na presença de tempos de reparação muito longos. É importante fragmentar esse tempo consoante os vários acontecimentos que tomaram lugar durante a perda de rendimento do equipamento.

Segundo o manual do GIAGI, existem sete grandes perdas de rendimento:

1. **Avarias/Falhas:** Existem dois níveis de falha que se podem considerar. A primeira é do tipo paragem de função, onde o equipamento cessa o que estava programado para realizar. A segunda acontece de forma prolongada, reduzindo a função do equipamento em relação à sua função original
2. **Mudança de produto/Set up:** Esta perda é associada à paragem devido à mudança de produto. Este representa o tempo necessário desde a paragem do produto que estava a ser produzido até à preparação do que será produzido.
3. **Mudança de ferramenta:** Neste tipo de perda inclui-se todas as perdas decorrentes da ferramenta.
4. **Microparagens:** Representam as pequenas paragens devido a problemas momentâneos, onde o equipamento para ou ópera em vazio.
5. **Degradação do tempo de ciclo:** Esta é uma perda associada à quebra de velocidade produtiva. Refere-se à diferença entre a velocidade nominal e a real do equipamento.
6. **Sucata:** É a perda relativa a um produto defeituoso que, por sua vez, pode ser substituído ou reparado.
7. **Rearranques:** Perdas decorrentes entre o início da produção e a estabilização do equipamento.

A disponibilidade operacional pode ser descrita segundo:

$$DP = DP \times DI \quad (2.5)$$

Onde,

DP – Disponibilidade Própria

DI – Disponibilidade Induzida

Ainda, é possível definir Disponibilidade Própria através da expressão 2.6:

$$DP = \frac{Tf}{Tf + Tpp} \quad (2.6)$$

Sabendo que,

Tf – Tempo de funcionamento. Este por sua vez pode ser obtido através da diferença entre o tempo afetado (Ta) e o tempo perdido (tempo de paragens próprias e tempo de paragens por avarias).

Ta – Tempo afetado. Este representa a diferença entre o tempo disponível para produção e os tempos de descanso programados.

Tpp – Tempo de paragens próprias do equipamento ou linha.

Também a Disponibilidade Induzida pode ser descrita através da seguinte expressão:

$$DI = \frac{Ta - Tpi}{Ta} \quad (2.7)$$

Onde,

Tpi – Tempo de paragens induzidas por avarias

2.1.5. Manutenção Centrada na Fiabilidade

A Manutenção Centrada na Fiabilidade é uma metodologia estruturada que permite determinar a manutenção mais adequada para um certo equipamento dentro do seu contexto operacional. O principal objetivo da RCM é manter a função de um sistema em vez de se focar apenas no equipamento. A aplicação da RCM requer a compreensão integral das funções dos bens físicos, bem como a natureza das falhas relacionadas. Esta reconhece que nem todos os fracassos são criados de igual forma e, algumas falhas não podem ser impedidas por uma reparação ou substituição preventiva (Jardine & Tsang, 2013).

O RCM representa um processo de decisão lógico destinado a estabelecer programas de manutenção, nomeadamente preventiva, mais eficientes. As técnicas que utiliza levam em conta os defeitos e as possibilidades de avaria que podem ter sido introduzidos ou causados durante a produção, armazenagem, operação e manutenção dos equipamentos. Com esta técnica procede-se ainda a uma normalização dos defeitos potencialmente detetáveis e à construção das árvores de falhas (Didelet & Viegas, 2003).

Incorpora a gestão de risco associada à funcionalidade de determinado sistema. Identifica o risco da forma como os equipamentos são instalados, o risco da sua funcionalidade e o risco de falha dos seus componentes principais. Com esta análise é mais fácil controlar, de forma eficiente, os equipamentos do sistema, identificando quais os componentes críticos. Assim a gestão pode direcionar o foco de atenção da equipa de manutenção, maximizando o aproveitamento do seu tempo. Esta abordagem resulta num sistema sempre ativo, desimpedido de avarias e paragens que podem ser prevenidas e evitadas (August, 2003).

Ainda, segundo August (2003), o RCM deve seguir três importantes passos para que seja bem implementado:

1. Selecionar os componentes que são mais importantes;
2. Definir ações apropriadas de MP para esses componentes;
3. Implementar.

Estes passos são simples e intuitivos para que qualquer colaborador que esteja familiarizado com os equipamentos, operações de risco, manutenção e custos associados possa elaborar um plano eficaz de manutenção preventiva.

2.2. Evolução e Definição da Fiabilidade

Segundo Dhillon (2004), a história da fiabilidade pode ser traçada desde a 2ª Guerra Mundial, quando os Alemães alegam ter introduzido, pela primeira vez, o conceito de fiabilidade para melhorar o rendimento dos seus foguetes. Em 1950 o departamento de defesa dos Estados Unidos estabeleceu uma comissão sobre a fiabilidade e em 1952 foi criado um grupo permanente denominado Comissão concelheira da Fiabilidade de equipamentos eletrónicos (AGREE – sigla em Inglês).

Nos anos sessenta surgem as primeiras análises detalhadas de avarias em componentes e dos seus efeitos no desempenho dos sistemas em que estão integrados e na segurança de pessoas e de bens envolventes. Mas a necessidade de desenvolver métodos estatísticos para o estudo da Fiabilidade, aparece apenas no início dos anos setenta, tendo, desde essa altura, continuado a aprofundar essa vertente com a busca dos meios mais adequados para cada tipo de equipamento e/ou sistema (Didelet, 2003).

Nos anos setenta, devido à crescente complexidade, de custos de manutenção de equipamentos e sistemas, aspetos como a relação homem-máquina e custo do ciclo de vida tornam-se importantes. Atividades de qualidade e garantia de fiabilidade são consideradas ao longo da vida do produto e os engenheiros passam a estar mais envolvidos no desenvolvimento dos projetos. Conceitos como garantia do produto, relação custo-eficiência e engenharia de sistemas são introduzidos (Biolini, 2013).

Atualmente, a competitividade obriga a que se criem equipamentos com níveis de desempenho (*performances*) crescentes. Tal facto conduz frequentemente à exigência dos equipamentos suportarem maiores cargas e maior número de funções, aumentando assim a sua complexidade. A primeira exigência força os sistemas a funcionarem perto dos limites de resistência. A segunda implica maior número de componentes. Qualquer das exigências resulta, fatalmente, em maior número provável de falhas, a menos que se adotem medidas de prevenção apropriadas (Assis, 2004). A qualidade é uma propriedade que pode alterar-se ao longo da vida de um produto ou serviço. Em consequência, a aceitabilidade de um produto depende em parte da sua capacidade de funcionar satisfatoriamente (ou do seu desempenho) ao longo do tempo. A esta vertente da *performance* dá-se o nome de fiabilidade (Assis, 2004).

Ainda segundo Assis (2004), é com o objetivo de definir políticas de manutenção para os equipamentos e instalações que se aplicam modelos de Fiabilidade a componentes e equipamentos. A estatística é uma ferramenta essencial para se tratarem os problemas colocados pela variabilidade. Mas, o grau de incerteza com que a engenharia tem de lidar nesta área, tendo em conta os fatores humanos relacionados com a utilização e a manutenção dos equipamentos, é muito grande e acaba por criar maiores problemas aos métodos estatísticos do que aqueles que enfrenta noutras áreas em que os aspetos práticos não são tão determinantes (Didelet, 2003).

2.2.1. Conceito de Falha

Em Fiabilidade, considera-se que falha da função requerida significa a cessação de funcionamento ou, mais frequentemente, a degradação de um parâmetro de funcionamento até um nível considerado insatisfatório (Assis, 2004).

A Figura 2.3 apresenta uma resumida definição para cada tipo de falha.

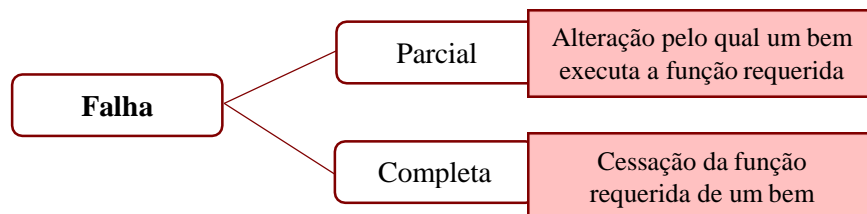


Figura 2.3 - Tipos de Falha (Adaptado de AFNOR, 2014)

Segundo Didelet (2003), o conceito de função requerida engloba não só quando o bem ou equipamento está avariado, ou seja, quando o seu funcionamento é interrompido, mas também quando não é possível que este realize a sua função de acordo com as condições segundo as quais se espera que funcione. Assim, o equipamento poderá estar a funcionar em condições consideradas deficientes ou insuficientes o que levará a uma intervenção dos serviços de manutenção e, como tal, deverá ser considerado que houve uma avaria do equipamento.

Ainda, de acordo com Assis (2004), define-se avaria como um caso particular de falha. O termo avaria refere-se ao facto não só à ocorrência de uma falha (da função capacidade) mas integra também a consequência do equipamento cessar o seu funcionamento (a função capacidade reduz-se a zero).

2.2.2. Modelos de Fiabilidade

Um modelo de Fiabilidade baseia-se no número de dados sobre dada avaria dos componentes do sistema. Em termos gerais, podem considerar-se dois tipos fundamentais de modelos de Fiabilidade, os determinísticos e os estatísticos. Segundo Pereira (2003) definem-se os seguintes modelos:

- **Modelos determinísticos:** são modelos baseados em leis de degradação física dos componentes ou sistemas sujeitos a falha. É importante conhecer o que inicia o processo, que condições ambientais o podem acelerar ou potenciam o seu desenvolvimento e como conduzem à avaria de um dado componente.
- **Modelos estatísticos ou estocásticos:** são modelos que recorrem ao conhecimento de situações ocorridas no passado com um dado componente, sistema ou equipamento ou com entidades semelhantes para inferir sobre a condição futura dessa entidade. Pode ser através do ajustamento de uma distribuição ou através do ajustamento do cálculo de uma função própria caracterizadora da fiabilidade prevista. No primeiro caso tratam-se de modelos

paramétricos e no segundo caso de modelos não paramétricos. Para o presente estudo serão apenas tratados dados que se ajustam a modelos estatísticos não paramétricos.

A figura 2.4 apresenta, resumidamente, os modelos de fiabilidade e as suas divisões, realçando os que se relacionam com o sistema em estudo.

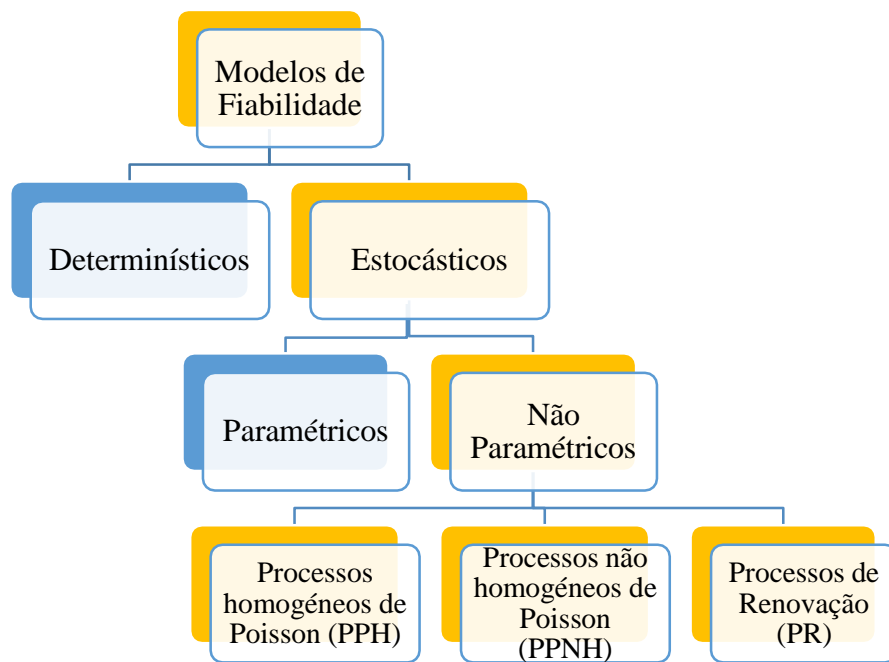


Figura 2.4 - Síntese dos Modelos de Fiabilidade e Respetiva Divisão

Segundo Didelet (2003), os modelos estocásticos são essencialmente, modelos pontuais quando aplicados a sistemas reparáveis. Os principais referem-se:

- **Processo de Poisson homogêneo (PPH)**, que traduz uma taxa de avarias constante.
- **Processo de Poisson não homogêneo (PPNH)**, que traduz uma taxa de avarias variável com o tempo de funcionamento.
- **Processo de Renovação (PR)** é uma generalização do PPH, isto é, consiste numa sequência infinita de tempos entre avarias independentes e identicamente distribuídos (Navas, 2014).

2.2.3. Análise da Fiabilidade

Antes de definir os métodos aplicados à análise da Fiabilidade é importante distinguir sistemas reparáveis de sistemas não reparáveis. Segundo Naikan (2008) estes podem ser definidos:

- **Sistema reparável (SR):** São sistemas que são capazes de se submeter a ciclos de insucesso e de reparação dentro do seu período de vida. A maioria dos equipamentos de produção industrial são SR.
- **Sistema não reparável (SNR):** São sistemas que o seu período de vida acaba assim que a primeira falha ocorre. Estes não podem ser reparados nem reutilizados.

Para os equipamentos é normalmente associado o termo de sistemas reparáveis enquanto, para os componentes aplica-se o conceito de sistemas não reparáveis (Didelet, 2003). Para este estudo consideram-se apenas sistemas reparáveis.

Quando se avaliam sistemas reparáveis, um **processo pontual** é aquele em que se considera que as avarias ocorrem em momentos determinados no tempo. Quando se considera que as avarias são o resultado de uma degradação dizem-se **processos não pontuais** (Navas, 2014).

O estudo da Fiabilidade procede-se de formas diferentes consoante o tipo de sistemas. Para sistemas reparáveis, por ser um estudo mais complexo, é necessário distinguir duas escalas de tempo: tempo entre avarias e tempo de calendário. Para o tempo entre avarias, o tratamento é semelhante ao que é utilizado para sistemas não reparáveis, utilizando a função de risco como parâmetro de referência para a fiabilidade. O tempo de calendário define-se ao longo do qual ocorrem diversas avarias, após as quais o sistema é recolocado em funcionamento, por ser reparável (Navas, 2014).

Pode-se ainda distinguir um sistema pela disposição dos seus equipamentos. Assim, segundo Assis (2004), os sistemas podem ser dispostos em série, paralelo ou mistos.

- **Sistema em série:** Neste tipo de sistemas, os equipamentos relacionam-se de modo a que o sistema falha se qualquer um dos componentes falhar.
- **Sistemas em paralelo (ou redundantes):** Para os sistemas em paralelo, este só falha se todos os componentes constituintes falharem.
- **Sistema misto:** Um sistema misto é constituído tanto por componentes em série como em paralelo, de forma a aumentar a fiabilidade do Sistema.

Ao pensar num sistema em série compreende-se rapidamente que a fiabilidade será baixa. Assim, é comum montar equipamentos em paralelo (os que apresentam uma fiabilidade menor) de forma a aumentar a fiabilidade do sistema. Esta ação denomina-se atribuir **redundância** ao sistema (Assis, 2004).

De acordo com o número de equipamentos colocados em paralelo e consoante a sua funcionalidade, os sistemas redundantes podem ser classificados: i) **Redundantes ativos**; ii) **Redundantes passivos** (Assis, 2004).

- i. **Redundância ativa:** Todos os elementos funcionam em simultâneo (Assis, 2004). Para um sistema com n elementos ligados em paralelo e para λ constante, o **MTTF** será dado por (Dias J. M., 2014):

$$MTTF_{RT} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{1}{\lambda_j + \lambda_i} + (-1)^{n-1} \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^{-1} \quad (2.8)$$

Sendo,

λ – Taxa de avarias

Ainda, para sistemas compostos por n elementos ativos a redundância pode ser **total** quando basta existir um elemento ativo para que todo o sistema funcione. Por outro lado, a redundância é parcial para sistemas que funcionam com um número mínimo de elementos ativos (Assis, 2004).

- ii. **Redundância passiva ou de standby:** Nestes casos, os equipamentos atuam como reserva e entram em funcionamento apenas se o componente principal falhar. Também os sistemas redundantes passivos podem classificar-se como **reparáveis em serviço** e **não-reparáveis em serviço** (Assis, 2004).

Os métodos matemáticos aplicados ao estudo da Fiabilidade dos equipamentos recorrem a ferramentas de tratamento estatístico dos dados disponíveis pelo que existe uma relação profunda entre a Fiabilidade e a Estatística (Didelet, 2003).

A. Função densidade de Probabilidade de Falha

A distribuição de uma variável aleatória (v.a.) T , contínua, representa-se por $f(t)$ e designa-se por função densidade de probabilidade (fdp). Uma fdp é constituída de tal forma que a área sob a curva que limita todas as possíveis gamas de valores de t tem que ser igual a 1 (Didelet, Fiabilidade, 2003). Sabendo que a expressão densidade de probabilidade de falha pode ser escrita como a seguinte função (Stephens, 2010):

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

Então, a probabilidade de T assumir um valor entre t_1 e t_2 pode ser determinada através da seguinte expressão (Assis, 2004):

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2.10)$$

Sabendo que, $f(t) \geq 0$ para qualquer t .

B. Função Fiabilidade

Segundo Didelet (2003), a função Fiabilidade é a variação do tempo entre avarias, ou tempo até à falha, e o valor de um intervalo de tempo que não contenha momentos de ocorrência de avarias.

É determinada a partir da probabilidade de um sistema sobreviver sem falhas durante um tempo determinado t . A partir da expressão 2.8 deduz-se (Assis, 2004):

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_0^\infty f(t)dt$$

Onde consoante λ tem-se:

- Função Fiabilidade para PPH (λ constante)

$$R(t_1, t_2) = e^{-\lambda(t_1, t_2)} \quad (2.11)$$

- Função Fiabilidade para PPNH (λ não é constante)

$$R(t_1, t_2) = e^{-\int_{t_2}^{t_1} \lambda(t)dt} \quad (2.12)$$

C. Função de Risco

A função de risco aplicada a componentes reparáveis implica que a variável métrica seja o tempo contado desde a última avaria. Assim, para cada tempo entre avarias haverá uma função de risco, definida pela expressão (Didelet, Fiabilidade, 2003).

$$h_{X_i} = \frac{F'_{X_i}(X_i)}{1 - F'_{X_i}(X_i)} \quad (2.13)$$

Onde o índice X_i representa o tempo entre avarias e $1 - F'_{X_i}(X_i)$ representa a probabilidade de sobrevivência até ao momento X .

Desta forma, cada função de risco é uma propriedade de cada variável aleatória tempo entre avarias e não de uma dada sequência de tempos entre avarias.

D. Curva de Sobrevivência ou da Banheira

Segundo Smith (2011) a curva da banheira procura descrever a variação da taxa de avarias dos componentes, ao longo do seu ciclo de vida. Exemplifica como proceder ao tratamento de mais do que um tipo de falha (modelo) através de uma única classificação, tal como ilustra a figura 2.5.

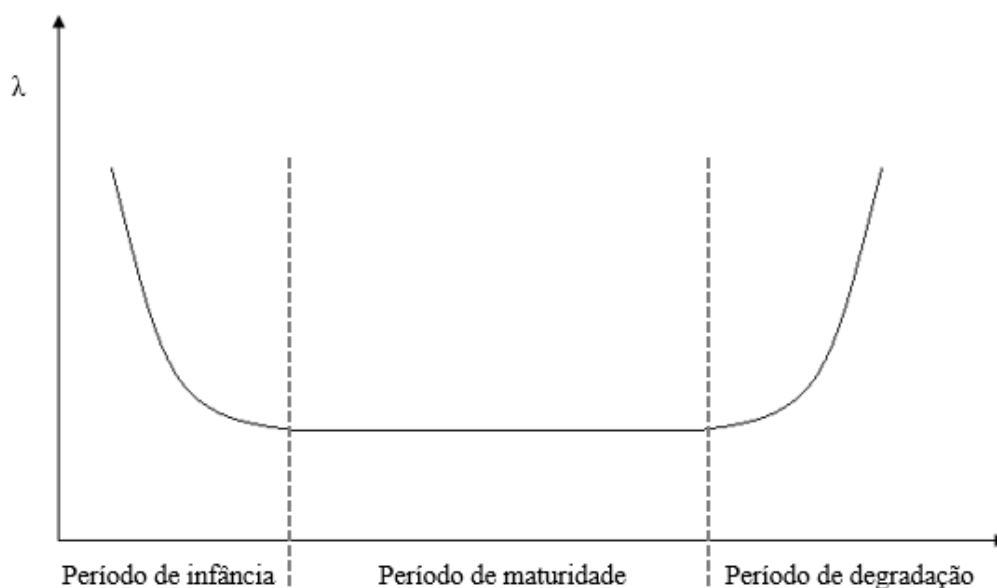


Figura 2.5 - Períodos da Curva de Mortalidade ou da Banheira (Adaptado de Assis, 2004)

O período de infância descreve o tempo no qual os equipamentos são novos e entram em funcionamento. Nesta idade apresentam uma taxa de avarias decrescente devida à existência de defeitos que se devem a várias causas como inconsistências no projeto, defeitos de fabrico, controlo de qualidade deficiente, entre outros (Assis, 2004).

O período de maturidade refere-se ao tempo de vida útil do equipamento e as falhas apresentam uma taxa de avarias aproximadamente constante, indicando que estas ocorrem de forma aleatória (Smith, 2011).

A última região da curva representa o período de degradação e assume-se que a taxa de avarias aumenta devido à degradação dos mecanismos (Smith, 2011). Este período pode ser precavido se o equipamento for substituído ou adiado se a manutenção aplicada impedir a degradação do equipamento (Assis, 2004).

2.2.4. Teste de Laplace

O teste de Laplace pretende verificar se numa dada sequência de acontecimentos, fazendo parte de um processo de ocorrências aleatórias, estas são independentes e identicamente distribuídas (Didelet, 2003). É uma ferramenta muito importante para o desenvolvimento de sistemas e monitorização de processos, podendo ser utilizado para identificar o crescimento da fiabilidade através da observação dos dados (Wang & Coit, 2004).

Considerando a Hipótese nula verdadeira, as falhas ocorrem segundo um PPH, sendo o intervalo de tempo entre falhas descrito pela Exponencial Negativa (do ponto de vista do sistema reparável, e não necessariamente dos componentes nele instalados) (Dias J. M., 2002).

Pode-se aplicar o teste limitando-o pelo tempo entre avarias ou pelo número de avarias. Para um nível de significância de 10% tem-se:

- **Teste limitado por tempo:**

H_0 : Taxa de falhas constante

H_1 : Taxa de falhas não constante

$$Z_0 = \sqrt{12 - N} \left[\frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{N \times T} - 0,5 \right] \quad (2.14)$$

Sabendo que,

N - Número de componentes que falham

T - Duração do ensaio

τ_i - idade do sistema para a avaria de ordem i

Se $Z_0 > \left| \frac{Z_\alpha}{2} \right|$ rejeita-se H_0 no pressuposto de um PPH.

Assim, para situações onde Z_0 se encontra fora do intervalo de confiança, valores negativos pronunciam a presença de um PPNH com tendência para λ decrescente e valores positivos revelam um λ crescente (Dias J. M., 2002). A figura 2.6 retrata o Intervalo de Confiança, a Zona de Rejeição e as tendências de λ .

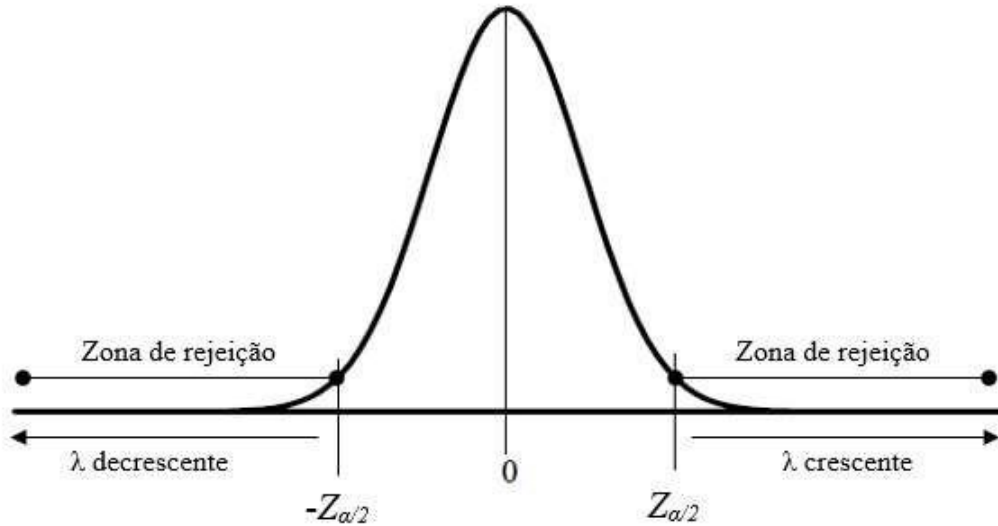


Figura 2.6 - Representação da Normal Reduzida (Adaptado de Dias, 2002)

- **Teste limitado por Avarias:**

A formulação das hipóteses é igual ao teste anterior. Obtendo por sua vez a seguinte expressão:

$$Z_0 = \sqrt{12 - N} \left[\frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{(N - 1) \times T} - 0,5 \right] \quad (2.15)$$

Este teste permite analisar se o componente ou sistema segue um PPH ou não. Caso a taxa de falhas for constante, pode-se modelar o intervalo de tempo entre falhas através da Distribuição Exponencial Negativa. Se o resultado do teste for o oposto, terá de se utilizar modelos específicos para os PPNH (Dias J. M., 2002).

2.2.5. Modelo de Crow

Larry Crow desenvolveu um modelo que assume que a intensidade de falha se aproxima à taxa de falhas da Distribuição Weibull, assim a taxa de falhas para o Modelo de Crow será (Martorell, Soares, & Barnett, 2014):

$$\rho(t) = \lambda' \cdot \beta' \cdot \tau^{\beta'-1} \quad (2.16)$$

Pelo que, para estimar os parâmetros λ' e β' optou-se pelo método da maior verossimilhança obtendo as seguintes expressões:

$$\hat{\lambda}' = \frac{n_f}{T^{\beta}} \quad (2.17)$$

$$\hat{\beta}' = \frac{n_f}{n_f \cdot \ln(T) - \sum_{i=1}^{n_f} \ln(\tau_i)} \quad (2.18)$$

Sabendo que n_f representa o número de falhas.

Para os casos onde os processos de Poisson são não homogéneos não faz sentido calcular o MTBF, visto que o tempo entre falhas não é constante. Assim recorre-se ao denominado tempo cumulativo médio entre falhas, CMTBF, para situações onde a taxa de avarias é decrescente.

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(t)} \quad (2.19)$$

2.2.6. Indicadores de Desempenho

Para qualquer empresa que visa obter o máximo de conhecimento sobre sistemas de produção, é importante dominar os conceitos de Manutibilidade, Fiabilidade e Disponibilidade. Com base nos autores Didelet e Viegas (2003) apresentam-se os seguintes conceitos:

- i. **Conceito de Manutibilidade:** Manutibilidade é a probabilidade de duração de uma reparação corretamente executada. Os seus parâmetros são:
 - **TTR - Time to Repair** (Tempo Total de Reparação) – é o intervalo de tempo entre a deteção de uma avaria e o momento em que após reparado retoma o bom funcionamento. Que engloba:
 - Tempo de espera;
 - Tempo gasto na deteção da avaria;
 - Tempo de diagnóstico da avaria;
 - Tempo de acesso ao órgão avariado;
 - Tempo de espera do fornecimento da peça;
 - Tempo de substituição / ou reparação;
 - Tempo de montagem;
 - Tempo de controlo e arranque do equipamento.

- MTTR – *Mean Time to Repair* (Tempo médio de reparação) - é um parâmetro muito importante ao nível da Manutibilidade, pois representa a “esperança matemática” do tempo de reparação de uma dada avaria ou seja o tempo provável ao fim do qual essa avaria estará reparada. O MTTR é representado pela seguinte expressão:

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (2.20)$$

Sabendo que,

N – número de falhas verificadas no período

Ainda é possível introduzir outro parâmetro relacionado com o tempo médio de reparação. Segundo Smith (2011), ao tornar o tempo de não funcionamento numa taxa, obtém-se a taxa de reparação:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (2.21)$$

ii. **Conceito de Fiabilidade:** Este conceito é o mesmo que o definido anteriormente no ponto 2.2. Em seguida apresentam-se os parâmetros que complementam este conceito.

- TBF – *Time Between Failures* (Tempo de Bom Funcionamento) – é o intervalo de tempo que decorre entre duas avarias consecutivas num determinado equipamento.
- MTBF – *Mean Time Between Failures* (Tempo Médio entre Avarias) - é o parâmetro que representa a “esperança matemática” das avarias, ou seja, o tempo provável ao fim do qual o equipamento, se utilizado nas condições nominais, avaria. O MTBF é representado pela seguinte expressão:

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} \quad (2.22)$$

Sendo,

N – número de avarias verificadas no período

O inverso do MTBF representa também um importante indicador de Fiabilidade, a taxa de avarias (λ).

iii. **Conceito de Disponibilidade Intrínseca:** É a probabilidade que um equipamento tem de assegurar a função para o qual foi produzido, num dado instante. A disponibilidade pode ser representada com base nos dois conceitos anteriormente definidos e expressa-se da seguinte forma:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.23)$$

A partir da expressão anterior é possível concluir que existem duas formas de aumentar a Disponibilidade intrínseca dos equipamentos, com o aumento do MTBF, ou com a diminuição do MTTR.

Estes indicadores permitem compreender o estado dos equipamentos e o que será rentável para o processo de fabrico utilizando ou não registos históricos (ficha técnica) da máquina (Chaïb, Taleb, Benidir, Verzea, & Bellaouar, 2014).

2.3. Análise de Custos

A melhoria do desempenho e da fiabilidade tem, assim, de ser conciliada por compromisso. Considerações semelhantes conduzem-nos à necessidade de conciliar pela mesma forma a fiabilidade e os custos. Obviamente quanto maior for a fiabilidade desejada maiores serão os custos resultantes (Assis, 2004).

Em situações intermédias, os requisitos de fiabilidade colocam-se mais em termos económicos. Assim, no caso de um equipamento de produção, interessa encontrar o melhor compromisso entre o custo de obtenção de uma fiabilidade elevada e o custo resultante das falhas (Assis, 2004).

2.3.1. Custo do Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost*)

Na economia global dos dias de hoje, as decisões de aquisição de muitos produtos de engenharia, em particular dos mais dispendiosos, não são feitas apenas com base em custos de aquisição, mas considerando também custos de ciclo de vida dos produtos (Dhillon, 2006).

A análise do LCC é fundamental no momento da seleção de novos equipamentos. Ajuda os engenheiros a justificar a escolha de determinados equipamentos ou componentes em detrimento de outros, a qual é baseada em custos totais e não apenas nos custos de aquisição, visto que os custos de operação, manutenção e abate dos equipamentos, na maioria dos casos, são muito superiores ao custo de aquisição (Ferreira, 2005).

Segundo Assis (2004), a aquisição de um novo equipamento ou transformação de um existente obriga a custos e proveitos específicos durante muitos anos. O LCC de um equipamento é composto por dois custos: o custo de propriedade e o custo de operação, onde o custo de propriedade é igual à soma dos custos de aquisição e instalação, custo de manutenção, custo de desativação e eliminação. Por sua vez, o custo de operação compreende unicamente os chamados “custo variáveis” dos recursos usados na produção de bens ou serviços. A Figura 2.7 ilustra a relação do LCC com a idade do equipamento.

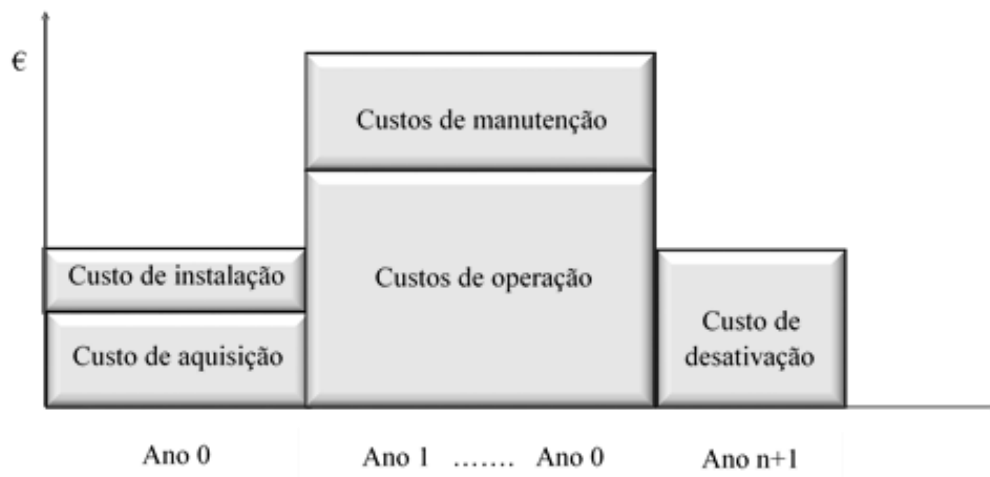


Figura 2.7 - Custos do Ciclo de Vida (Adaptado de Assis, 2004)

Baseado em Ferreira (2005), uma fórmula utilizada para calcular o LCC é a seguinte:

$$LCC = CVA + CIN + CO + CM + CD \quad (2.24)$$

Onde,

- CVA – Custo de Aquisição do Equipamento. Inclui os custos administrativos de compra, custo de peças sobresselentes e ferramentas que sejam necessárias de adquirir, formação dos operadores e da manutenção.
- CIN – Custo de Instalação do Equipamento. Inclui os custos de preparação das instalações físicas, de montagem e de verificação do desempenho na fase de arranque.
- CO – Custo de Operações de um Equipamento. Inclui custos de MDO e de controlo de operações. Pode ainda incluir o custo de perda de produção, isto é, custos de amortização de equipamento produtivo parado, custos de MDO de produção e custos de incumprimento de prazos
- CM – Custo de Manutenção do Equipamento. Inclui custos diretos de manutenção corretiva e preventiva, custos administrativos do serviço de manutenção e custos de ferramentas.
- CAMB – Custo Ambiental. Refere-se a custos consequentes do funcionamento do equipamento, quer em estado normal – tratamento de gases e/ou ruído – quer ocorridos devido a avarias do sistema.
- CD – Custo de desativação do Equipamento. Como se pode observar pelo gráfico da figura 7 os custos encontram-se distribuídos ao longo do ciclo de vida dos equipamentos. Por um lado, o LCC será significativamente menor ao melhorar a fiabilidade, manutibilidade e segurança, mas irá aumentar devido às atividades necessárias para obter as melhorias. Desta forma é necessário encontrar um equilíbrio que permita minimizar o custo total (Smith, 2011).

2.3.2. Custos de Oportunidade

Os custos denominados por Custos de Oportunidade constituem potenciais uniões de dinheiro que se deixam de realizar devido às circunstâncias singulares de uma decisão. Se o equipamento constitui um estrangulamento de produção e o tempo perdido não pode ser recuperado, contabiliza-se um custo de oportunidade correspondente à perda económica da produção que não foi realizada, logo não foi realizada a venda das unidades (Assis, 2004). O custo poderá ser calculado pela seguinte expressão: Onde,

$$COp = NUNV \times MCU \quad (2.25)$$

e,

$$MCU = PULV - CUV \quad (2.26)$$

Sabendo que,

NUNV – Número de Unidades Não Vendidas

MCU – Margem de contribuição unitária

PULV – Preço Unitário Líquido de Venda

CUV – Custo Unitário de Venda

Se por outro lado, o equipamento constitui um estrangulamento de produção mas, esta pode ser recuperada em horas extraordinárias ou aumentando a cadência da linha para um regime de menor rendimento, verifica-se um custo de oportunidade igual ao total de horas extraordinárias pagas aos funcionários que as realizou ou ao incremento do custo variável de produção (Assis, 2004).

2.3.3. Vida Económica de um Equipamento

Segundo Assis, existem três razões fundamentais que justificam a decisão de substituição de um equipamento, a degradação física, a obsolescência tecnológica e o excesso ou insuficiência de capacidade.

A degradação física conduz a uma perda progressiva do valor de serviço proporcionado e a um aumento dos custos de operação e manutenção. A obsolescência ocorre em resultado de uma contínua inadequação das características operacionais às exigências do mercado. Por outro lado, o equipamento pode funcionar em boas condições operacionais, mas as suas atividades podem ser tão reduzidas que se torna mais económico substituir aquele equipamento por outro de menor capacidade. Numa perspetiva oposta, as solicitações podem ser tão elevadas que a capacidade necessite de ser aumentada, tornando-se necessário determinar a forma mais económica de o fazer (Assis, 2004).

O valor de um bem existente, para efeitos de análise e decisão de substituição, não é igual ao custo passado (aquisição + instalação + eventuais transformações de melhoria) mas sim, igual ao seu valor atual. Este valor é igual àquele que o mercado de usados está disposto a dar pelo equipamento, onde o seu valor é considerado para análise económica como um custo de oportunidade. Por sua vez, o custo corresponde ao ganho possível a obter pela aplicação do capital conseguido, com a venda do equipamento no mercado de usados ou para a sucata, a uma taxa maior ou igual à mínima de rentabilidade usada na empresa (Assis, 2004).

CAPÍTULO 3

Apresentação da Empresa e seu Sistema de Produção

A presente dissertação foi desenvolvida numa das PME mais reconhecidas no setor de alimentos congelados. Assim, o presente capítulo pretende dar a conhecer um pouco sobre a evolução da empresa ao longo dos anos, da sua ideologia e ainda o processo produtivo atual da mesma.

3.1. Gelpeixe, Alimentos Congelados S.A.

No vasto ramo da Indústria Alimentar há empresas que primam pela eficiência das suas linhas de produção, não registando devoluções ou clientes insatisfeitos. Estas empresas evidenciam-se com departamentos de manutenção estruturados e ágeis, garantindo a qualidade e desempenho das suas unidades fabris.

A Gelpeixe, Alimentos Congelados S.A. é uma empresa do ramo alimentar que se baseia na transformação e comercialização de alimentos ultracongelados. Não se concentra apenas na área do pescado, mas foi nesta área que se iniciou e que se destacou.

As instalações da Gelpeixe são em Loures, Portugal, e constituem uma área de construção de mais de 10.000 m² e uma capacidade produtiva de mais de 20.000 m³. A figura 3.1 ilustra uma das áreas de carga/descarga pertencentes à empresa.



Figura 3.1 - Instalações da Gelpeixe; Área de Cargas e Descargas (fonte: <http://economico.sapo.pt/>)

A empresa valoriza uma política ecológica que estime a poupança de recursos e que promova o espírito verde junto de todos os colaboradores. Os valores da Tradição, Confiança, Qualidade, Dinamismo e Diferenciação, marcam o tom na empresa. A Gelpeixe, Alimentos Congelados S.A. nasceu e cresceu na família Tarré mantendo, ainda nos dias de hoje, uma estrutura familiar. Tem como objetivo ser conhecida e reconhecida pela máxima qualidade dos seus produtos e visa cobrir a totalidade do mercado nacional e fortalecer as condições de expansão ao mercado internacional, numa base de crescimento sustentado.

3.1.1. Evolução Histórica da Empresa

A Gelpeixe é uma empresa familiar, fundada por Francisco Tarré, encontrando-se no mercado desde 1977. A sua atividade, até aos dias de hoje, centra-se na transformação e comercialização de alimentos ultracongelados.

Em 1991, a empresa foi premiada Importadora Portuguesa do Ano, pela Câmara de Comércio e Indústria Luso-Sul Africana (CCILSA). No ano seguinte foi distinguida, pela primeira vez, como PME Excelência e PME Prestígio pelo Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento, IAPMEI.

Os anos foram passando e a aceitação sobre os seus produtos foi crescendo, assim, em 1995 decidiu ampliar a área de armazenamento, para conseguir acompanhar a procura.

Em 2002, a Gelpeixe foi a primeira empresa, em Portugal, na indústria dos produtos de pesca congelados a ser certificada simultaneamente nas normas DS3027E e ISO9001. Dois anos depois, a Gelpeixe foi gratificada com o prémio Master da distribuição na categoria de produtos congelados, com produto “Sushi Sapporo”, pela revista Distribuição Hoje.

Em 2009, recebeu a certificação segundo o referencial normativo ISSO 22000:2005. Ainda no ano 2009 foi considerada, pela Revista Exame, a melhor PME para trabalhar em Portugal.

O forte crescimento revelou grandes resultados no ano 2011, atingindo um volume de faturação de 50 milhões de euros. Um ano depois a empresa voltou a ganhar mais prémios, sendo figura de destaque no Diário Económico, e ganhando novamente distinção como PME Excelência e PME Prestígio. Em 2013, a Gelpeixe destacou-se novamente pela Revista Exame, como a 3ª Melhor Empresa para trabalhar.

Atualmente, a empresa é composta por sete marcas de produto, sendo elas a marca Gelpeixe, Gelpeixe *Chef*, Gelpeixe *Gourmet*, *Delidu* Gelpeixe, Gelpeixe *Profissional* e Gelpeixe *Representações*. No último ano, em 2014, a empresa alargou a gama de produtos com o lançamento da marca Gelpeixe *Junior* (Gelpeixe, 2015).

A. Estrutura Organizacional

Conteúdo confidencial retirado

B. Exportação

A Gelpeixe é uma empresa que tem ganho grande notoriedade ao longo dos anos no mercado Português. O reconhecimento da gastronomia portuguesa aliado ao elevado consumo de pescado foram os *inputs* necessários para que o mercado internacional mostrasse interesse pelos produtos da empresa. Assim, em 2004 alargaram os seus horizontes e iniciaram as suas primeiras exportações, revelando um aumento de 8% no seu volume de vendas total.

Em 2012 os mercados principais de exportação envolviam os países de Angola, representando 50% das exportações, Macau, Cabo Verde e Luxemburgo, representando outros 30%. Os produtos que mais se destacam nestes mercados são os tipicamente portugueses, como a sardinha, os pastéis de bacalhau, os rissóis de leitão e os pastéis de nata.

Para facilitar a otimização da produção e da logística e, consequentemente melhorar a integração nos mercados onde estão inseridos, a empresa criou submarcas de fácil pronuncia na maioria das línguas e traduzidas nas línguas nos mercados onde se encontram inseridos - *Gelpeixe Chef*, *Gelpeixe Gourmet* e *Gelpeixe Delidu*.

Atualmente, a Gelpeixe encontra-se a exportar para mais de 10 países de África, Ásia e Europa, sendo a Polónia a parceira mais recente. A exportação tem vindo a ganhar destaque na faturação da empresa, cobrindo atualmente cerca de 10% do total da faturação, o que se traduz em valores aproximados a 5 milhões de euros.

3.2. Processo Produtivo da Empresa

Conteúdo confidencial retirado

CAPITULO 4

Análise do Processo Produtivo da Linha A

Neste capítulo será descrita a linha de produção em que se centra este estudo de Fiabilidade e serão apresentados os equipamentos para análise. Foram ainda contabilizadas e analisadas as falhas correspondentes a cada equipamento para o ano 2014.

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

.

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

CAPÍTULO 5

Propostas de Melhoria para a Gestão da Manutenção e Fiabilidade

Durante o estágio, foi possível identificar pontos de melhoria que poderiam ser aplicados num futuro próximo. Este capítulo apresenta três pontos de melhoria indispensáveis para que a empresa mantenha um bom registo sobre os equipamentos da Linha A.

3.3. Melhoria da Estrutura da Folha de Obra

Tal como foi descrito no Capítulo 4 a informação contida numa FO nem sempre é a mais correta e na maioria das vezes acaba por ser insuficiente para que se consiga criar um bom histórico de avarias. A estrutura existente é formatada diretamente do sistema informático, que tem uma boa estrutura para que não se perca informação importante.

A informação necessária para que se crie um histórico de avarias completo passa por garantir que se mantém o seguimento dos seguintes pontos:

- Data da avaria - devem incluir além do dia/mês/ano a hora aproximada da avaria;
- Descrição da avaria – deve conter informação clara e sucinta;
- Duração da reparação;
- Duração total da avaria;
- Materiais usados (se aplicável);
- Custo de MDO;
- Custo de serviços externos;
- Custo dos materiais usados;
- Custo total.

Se toda esta informação fosse recolhida e seguida, o histórico de dados seria muito mais viável e o estudo da Disponibilidade das linhas poderia ser efetuado com um *gap* muito mais reduzido.

Ainda, através desta informação recolhida é possível fazer estimativas mais reais sobre as avarias de cada equipamento e sobre os custos de ciclo de vida de cada máquina.

É de notar que a informação mais crítica é inserida no sistema no momento de fecho da FO. Assim, é importante que, além do preenchimento correto por parte dos técnicos da FO, o responsável pelo fecho da mesma deve ter o cuidado de rever toda a informação e acrescentar dados que se encontram exclusivamente na sua posse, tais como o custo de MDO, o custo dos materiais e serviços externos.

3.4. Criação de uma Folha de Cálculo da Disponibilidade do Sistema

Nas indústrias onde operam vários equipamentos e se transformam vários produtos, a complexidade das linhas tende a aumentar, assim como a linearidade dos problemas tende a diminuir. Um dos maiores objetivos da manutenção é garantir que os equipamentos estão disponíveis durante o maior tempo possível.

Quando nas organizações, a afetação de pessoal técnico é reduzida, aumenta a probabilidade de se encontrarem equipamentos no seu estado *down*. Assim é normal encontrar FO com durações muito superiores à duração do tempo de reparação.

Neste documento pretende-se clarificar todos os tempos que se encontram implícitos nos registos das FO, isto é, perceber quais as FO que são referentes a paragens por avaria e quais são as que representam falhas que permitem que o equipamento funcione sem condicionar o desempenho da linha. Desta forma visa-se determinar a disponibilidade da linha, que se aproxime mais da realidade. Através dos indicadores de manutenção é possível estimar em média, ao fim de quantos dias poderá ocorrer uma falha, qual o tempo médio de bom funcionamento e qual a implicação, de uma forma algo grosseira, na produtividade da linha. Assim com os resultados obtidos será possível concluir quais os equipamentos que requerem maior atenção quanto a possíveis alterações ou até mesmo substituições.

Assim, o documento deverá conter as seguintes informações:

- Identificação do Equipamento;
- Matrícula do Equipamento;
- Número de Avarias;
- Número de Paragens;

- Número de dias de Funcionamento Condicionado;
- Número de dias Parado;
- Número total de dias *down*;
- Número total de MP;
- Indicadores de manutenção: TMM, MTTR, MTBF, MTTF e Taxa de Avarias;
- Disponibilidade dos Equipamentos;
- Estado dos Equipamentos (Ok/Crítico).

Com toda a informação recolhida, à medida que a empresa for preenchendo os campos de número de avarias, número de paragens, número de dias de funcionamento condicionado e número de dias parado, a folha de cálculo automaticamente irá calcular os indicadores de manutibilidade, fiabilidade e consequentemente a disponibilidade de cada equipamento e da linha.

3.5. Criação de uma Folha de Cálculo do Custo de Ciclo de Vida dos Equipamentos

Nas indústrias fabris, a complexidade dos processos e equipamentos tendem a fazer disparar os custos associados à manutenção dos mesmos. É por isso que é importante garantir uma boa gestão que englobe não só o estado dos equipamentos, mas também, que conheça os investimentos feitos até ao momento dos mesmos.

O levantamento de custos é crucial para planos de investimentos e tomadas de decisão. São um conjunto de dados que pode fazer toda a diferença no momento de troca de equipamentos. Existem máquinas que requerem um grande investimento inicial que, por vezes, pode ser adiado fazendo pequenos ajustes mecânicos ou de *layout*. Por outro lado, existem equipamentos que devido à idade tornam-se obsoletos e nestes casos o investimento em soluções mais atualizadas e otimizadas torna-se a melhor solução. Sobre todas estas decisões o fator custo é muito importante e é por isso que se torna fulcral, para qualquer organização, manter esta informação organizada e atualizada.

Assim, um aspeto que se prende diretamente à análise dos equipamentos do Sistema são os Custos de Ciclo de vida que cada um apresenta, sendo indispensável estudá-los aquando na iminência de substituição de equipamentos. Neste documento serão contabilizados os custos de Aquisição, Manutenção e Desativação para calcular o LCC. Os restantes apresentados na equação 2.24 foram ignorados devido à falta de informação existente.

Pretende-se obter ainda, o Custo de Oportunidade relativamente à diferença de produtividade segundo as várias disponibilidades que se poderão obter, supondo as várias alterações de equipamentos na linha A. Desta forma o documento irá informar, ao nível de produtividade, o quanto se perderá caso as alterações necessárias para o melhoramento da linha não forem efetuadas.

A estrutura do documento deve conter:

- Identificação do Equipamento;
- Matrícula do Equipamento;
- Idade do Equipamento;
- Estado (Ok/Crítico);
- Preço de Aquisição;
- Custo de Manutenção;
- Custo de Desativação;
- Custo do Ciclo de Vida;
- Valor residual.

Tal como a folha de cálculo anterior, se a empresa registar todos os custos associados à manutenção e se mantiver registos do valor de aquisição dos equipamentos, será possível observar a evolução do custo de ciclo de vida de cada equipamento. Também, sabendo o valor de amortização, a idade do equipamento e o valor de aquisição será calculado automaticamente o valor residual de cada equipamento.

CAPÍTULO 6

Disponibilidade e Custo de Ciclo de Vida da Linha A

Neste capítulo será demonstrado todo o raciocínio e cálculos desenvolvidos para determinar a disponibilidade e custo de ciclo de vida dos equipamentos da Linha A. Assim, será possível concluir quais os equipamentos, constituintes do sistema, que requerem maior atenção para possíveis alterações ou até mesmo substituições.

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

CAPÍTULO 7

Considerações Finais

Neste capítulo foram analisados todos os resultados obtidos ao longo do estudo de forma a criar propostas vantajosas para a empresa.

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Bibliografia

- AFNOR (2015), <http://www.afnor.org/> (Consultado em 01/2015)
- Assis, R. (2004). Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção. Lidel.
- August, Jim (2003). RCM Guidebook: Building a Reliable Plant Maintenance Program. PennWell Books.
- Belohlavek, P. (2006). OEE: Overall Equipment Effectiveness. Blue Eagle Group.
- Birolini, A. (2013). Reliability Engineering: Theory and Practice. Springer Science & Business Media.
- Borris, S. (2006). Total Productive Maintenance. The McGraw-Hill Companies, Inc. Cabral, J. P. (2006). Organização e Gestão da Manutenção. Lisboa: Lidel.
- CEN (2010), EN 113306:2010, European Standard: Maintenance terminology. CEN - European committee for standardization, Brussels.
- Chaïb, R., Taleb, M., Benidir, M., Verzea, I., & Bellaouar, A. (2014). Failure: A Source of Progress in Maintenance and Design . Physics Procedia.
- Dhillon, B. (2006). Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. CRC Press.
- Dias, J. M. (2002). Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Industrial. FCT/UNL.
- Dias, J. M. (2005). Fiabilidade e Gestão da Manutenção. FCT/UNL.
- Dias, J. M. (Consultado em 12/2014). Capítulo III - A Fiabilidade dos Sistemas de Componentes. Obtido de <http://clip.unl.pt>.
- Didelet, F. (2003). Fiabilidade. ESTSetúbal/IPS.
- Didelet, F., & Viegas, J. C. (2003). Manutenção. ESTSetúbal/IPS.
- Dírcia Lopes (2014), http://economico.sapo.pt/noticias/gelpeixe-e-cerealis-reforcam-aposta-no-mercado-externo_204774.html (Consultado em 01/2015).
- Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Campbell, J. D. (1999). Plannign and Control of MAintenance Systems: Modeling and Analysis. Wiley.
- Ferreira, L. A. (2005). O Valor da Manutenção na Gestão da Empresa. 4º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica, (pp. 2-3). Lisboa.
- Fogliato, F., & Ribeiro, J. (2009). Confiabilidade e Manutenção Industrial. Elsevier.
- Gelpeixe, Alimentos Ultracongelados S.A. (2015), <http://www.gelpeixe.pt/> (Consultado em 01/2015)
- GIAGI (2007), Gestão da Manutenção e Disponibilidade dos Equipamentos GIAGI- Consultores de Gestão Industrial. Obtido de <http://www.giagi.pt/default.asp> (Consultado em 01/2015)
- Hansen, R. (2001). Overall Equipment Effectiveness. Industrial Press.
- IPQ (2008), NP 4483:2008. Sistemas de gestão da manutenção. IPQ - Instituto Português da Qualidade.
- Jardine, A. K., & Tsang, A. H. (2013). Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications, Second Edition. CRC Press.

- Kister, T. C., & Hawkins, B. (2006). *Maintenance Planning and Scheduling: Streamline Your Organization for a Lean Environment*. Butterworth-Heinemann.
- Manzini, R., Regattieri, A., Pham, H., & Ferrari, E. (2009). *Maintenance for Industrial Systems*- Springer Series in Reliability Engineering. Springer Science & Business Media.
- Martorell, S., Soares, C. G., & Barnett, J. (2014). *Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications* . CRC Press.
- Mirshawka, V. (1991). *Manutenção preditiva : caminho para zero defeitos*. McGraw-Hill.
- Naikan, V. N. (2008). *Reliability Engineering and life testing*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Nassar, W. R., & Dias, S. M. (2008). *Evolução da Manutenção Planejada na COSIPA* . 23º Congresso Brasileiro de Manutenção / ABRAMAN - Associação, (p. 2).
- Navas, H. (Consultado em 12/2014). *Fiabilidade II*. Obtido de <http://clip.unl.pt>. Nowakowski, T. (2014). *Safety and Reliability: Methodology and Applications*. CRC Press. Pereira, F. D. (2003). *Modelos de Fiabilidade e Disponibilidade*. ESTSetúbal/IST.
- Poór, P., Kuchtová, N., & Simon, M. (2013). *Machinery Maintenance as Part of Facility Management - 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*. Reliability Engineering and System Safety.
- Singh, R., Shah, D. B., Gohil, A. M., & Shah, M. H. (2013). *Overall Equipment Effectiveness (OEE) Calculation - Automation through Hardware & Software Development*. Procedia Engineering.
- Smith, D. J. (2011). *Reliability, Maintainability and Risk 8e: Practical Methods for Engineers including Reliability Centred Maintenance and Safety-Related Systems*. Elsevier.
- Stephens, M. P. (2010). *Productivity and Reliability-Based Maintenance Management*. Purdue University Press.
- Tomlinsong, P. D. (1998). *Effective Maintenance: The Key to Profitability: A Manager's Guide to Effective Industrial Maintenance Management*. John Wiley & Sons.
- Wang, P., & Coit, D. W. (2004). *Reliability Prediction Based on Degradation Modeling for Systems with Multiple Degradation Measures*, Proceedings of the 2004 Reliability & Maintainability Symposium (RAMS). Obtido de http://ise.rutgers.edu/resource/research_paper/paper_04-018.pdf (Consultado em 01/2015)

Anexos

Anexo I – FO de uma Manutenção Preventiva Aplicada ao Tapete Recuperador do Túnel

Conteúdo confidencial retirado

Anexo II – Folha de Cálculo Fornecida à Empresa sobre a Disponibilidade Intrínseca da Linha A e dos seus Componentes

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado

Anexo III – Folha de Cálculo Fornecida à Empresa Respeitante ao Custos de Ciclo de Vida dos Equipamentos Constituintes da Linha A

Conteúdo confidencial retirado

Conteúdo confidencial retirado